

文章编号:1001-8360(2014)08-0091-07

斜坡软弱地基路堤复式滑面的极限平衡法判识

蒋 鑫^{1,2,3}, 高小峰^{1,2,3}, 邱延峻^{1,2,3}

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031;

2. 西南交通大学 高速铁路线路工程教育部重点实验室, 四川 成都 610031;

3. 西南交通大学 道路工程四川省重点实验室, 四川 成都 610031)

摘 要:依托渝怀铁路斜坡软弱地基路堤土工离心模型试验成果,利用 Slide 软件建立对应的计算模型,开展基于极限平衡法与概率分析的复式滑动研究;对比 Slide 模型结果与离心模型试验成果的差异,探讨斜坡软弱层厚度与内摩擦角变化对复式滑面的影响;开展斜坡软弱层内摩擦角变异性对稳定性与滑动模式影响的概率分析。Slide 模型计算与离心模型试验具有互补性;在极限平衡法中,考虑复式滑面有利于提高设计的安全储备;斜坡软弱层内摩擦角偏小、厚度偏薄时更易出现复式滑动破坏;在极限平衡法中引入概率分析,可更好地反映斜坡软弱层内摩擦角的变异性。

关键词: 斜坡软弱地基路堤; 极限平衡法; 复式滑面; 概率分析

中图分类号:U213.11 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-8360.2014.08.015

Judgement of Composite Slip Surface of Embankment over Sloped Weak Ground with Limit Equilibrium Method

JIANG Xin^{1,2,3}, GAO Xiao-feng^{1,2,3}, QIU Yan-jun^{1,2,3}

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. MOE Key Laboratory of High-speed Railway Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

3. Highway Engineering Key Laboratory of Sichuan Province, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: With reference to results of geotechnical centrifuge model tests of embankment over sloped weak ground of the Chongqing-Huaihua Railway, the corresponding computation model was established with Software Slide and study on composite slip was conducted with the limit equilibrium method(LEM) and by analysis on probabilities. The results of the Slide model and geotechnical centrifuge model were compared and the influence of the thickness and internal friction angle of the sloped weak layer on the composite slip surface was discussed. Probability analysis was made to investigate the influence of the variability of internal friction angles of the sloped weak layer on the embankment stability and slip surface behavior. Slide model calculations and geotechnical centrifuge tests are complementary. When applying the limit equilibrium method, consideration of the composite slip surface is in favour of improving the safety stock in design. Damages due to composite sliding are easier to occur when the internal friction angle gets smaller and thickness gets lower with the sloped weak layer. Introducing probability analysis into LEM can better reflect the variability of internal friction angles of the sloped weak layer.

Key words: embankment over sloped weak ground; limit equilibrium method; composite slip surface; probability analysis

收稿日期:2012-05-21; 修回日期:2012-10-08
基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(SWJTU12CX067)
作者简介:蒋 鑫(1976—),男,湖南永州人,副教授,博士。
E-mail:xjiang01@163.com

我国西南山区地形复杂、地势险峻,铁路、公路等交通基础设施建设经常需要在斜坡软弱地基上填筑土石方,构成斜坡软弱地基路堤或站场。作为一种特殊

的地质力学模型,斜坡软弱地基具有如下特点:斜坡软弱层表面或底部,具有一定的斜坡,从而丧失横断面几何对称性,力学响应不可避免地向下坡脚方向倾斜、集中;尽管斜坡软弱层地质成因复杂、类型多样,但宏观上均呈现低强度和高压缩性的特点。鉴于这些特点,在长带状柔性路堤荷载作用下,易出现斜坡软弱地基连同路堤的失稳破坏,造成严重的工程隐患,应引起高度重视^[1-2]。

当斜坡软弱层厚度相对偏薄或强度偏低时,斜坡软弱地基路堤可能出现复式滑动。如图 1 所示,下卧刚硬层的存在导致滑动面无法向下深切,形成路堤本体与斜坡软弱层内圆弧-斜坡软弱层底折线-斜坡软弱层内圆弧的复杂滑动模式。

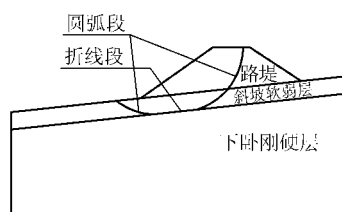


图 1 斜坡软弱地基路堤复式滑面形态

此类滑动模式的分析较为复杂,从目前国内行业规范层面看,《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035)未将斜坡软弱地基路堤纳入其范畴;《铁路工程地基处理技术规程》(TB 10106)提出路堤沿斜坡地基或软弱层带滑动的稳定性除按圆弧滑动法进行计算外,还应采用不平衡推力法进行分析,当采用圆弧滑动法检算时,其稳定安全系数应根据软弱地基横向坡度大小进行修正;《公路路基设计规范》(JTG D30)亦未明确提出斜坡软弱地基路堤的概念。

文献[3-4]采用极限平衡法分析斜坡软弱地基路堤的稳定性,但对复式滑面的分析尚未获得实质性突破。文献[5]提出采用假想复式滑面法,该方法虽具有一定的可操作性,但选取相对危险的滑面可能存在较大的人为误差。文献[6-8]采用剪切强度折减法,较好地展现了斜坡软弱地基路堤复式滑动的现象,但该方法基于材料非线性的有限单元法或有限差分法而编制,对岩土工程数值计算的要求较高,且计算机时相对增加,普通工程技术人员难以深入掌握其原理与应用软件,仍倾向于采用传统成熟的极限平衡法分析该类问题。本文采用加拿大 Rocscience Inc 开发的基于极限平衡法的 Slide 软件,重点就斜坡软弱地基路堤复式滑动进行建模与分析,讨论斜坡软弱层厚度与内摩擦角两个重要参数对稳定性的影响,并开展斜坡软弱层内摩擦角变异性对路堤稳定性的概率分析。

1 极限平衡法的适用性及 Slide 软件简介

大量工程实践表明,采用极限平衡法分析边坡稳定性是可靠的,且简便准确。斜坡软弱地基路堤满足应用极限平衡法进行稳定性分析的理论前提;复式滑面虽为圆弧-折线-圆弧的形态,但是其并未破坏极限平衡法的前提条件,故仍可采用传统的瑞典条分法或简化 Bishop 法进行计算。

本文选用 Slide 软件,该软件内嵌多种常用的极限平衡计算方法,可简便快捷地计算边坡圆弧或非圆弧滑动面的稳定性,已广泛应用于露天矿山边坡、公路边坡和坝体等的稳定性计算分析。同时,考虑材料属性的变异性,使得边坡稳定的概率分析成为可能^[9]。

2 Slide 模型的建立及可靠性校核

2.1 土工离心模型试验

文献[10-11]等结合渝怀铁路,开展了 1:10 斜坡软弱地基路堤(路堤高 7.88 m,斜坡软弱层厚 6 m)土工离心模型试验。关于土工离心模型试验的几何尺寸、材料、加载历程及测点布置等详见文献[10]。为便于验证本文利用 Slide 所建立的计算模型的可靠性,选取文献[10-11]所开展的土工离心模型试验成果进行校核。

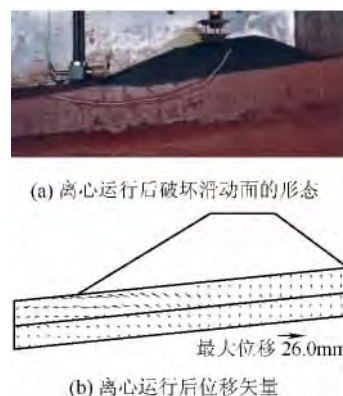


图 2 斜坡软弱地基路堤离心模型滑动面形态

图 2(a)给出了斜坡软弱地基路堤离心运行后破坏滑动面的形态与位置。由图 2(a)可知,模型发生剪切破坏,破坏面大致呈圆弧状,整个圆弧位于路堤本体与软弱土层内,未达到软弱土层与硬土层交界处,即本模型未出现复式滑动,这可能与斜坡软弱土层厚度偏大有关。土工离心模型试验虽然具有明显的优势,但因试验组数有限、试验费用高昂、试验周期长,不便开展多场景条件下的方案比选,故利用 Slide 软件开展多场景,尤其是特殊工况条件下的机理分析具有独到

之处。图 2(b)为利用 Surfer 等后处理软件绘制的网格点的位移矢量图,斜坡软弱层位移主要集中于土工离心模型试验所获滑动面的上方,滑动面以下部分土体位移均相对较小。

2.2 Slide 模型的建立

2.2.1 Slide 模型几何尺寸的确定

严格按照离心模型所对应的原型几何尺寸建立 Slide 模型,如图 3 所示。绘制离心模型中用于捕捉土体变形的网格线^[10],使 Slide 模型结果与离心模型试验成果两者的滑动面形态更具可比性。从网格设置上分析,路堤下坡脚处斜坡软弱层网格较上坡脚处相对更密,且网格区域适当向左延伸,更有利于充分捕捉向下坡脚方向集中、倾斜的力学响应,尤其是各网格点的位移及潜在滑面形态。

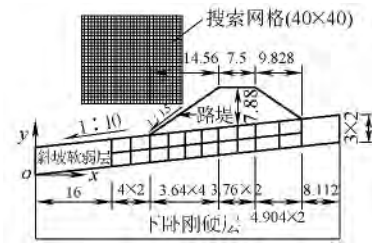


图 3 Slide 计算模型示意(单位:m)

2.2.2 强度模型及材料参数

土体的强度模型采用 Mohr-Coulomb 模型,材料参数见表 1。需要说明的是:Slide 模型中不需要输入含水率,表中所列含水率来自离心模型试验成果;路堤填料未系统开展室内土工试验,仅测试试验前重度值,试验前后的含水率未知,黏聚力、内摩擦角均参考文献^[6]。

表 1 Slide 模型土体参数

材料	含水率		重度		黏聚力		内摩擦角	
	试验前	试验后	试验前	试验后	试验前	试验后	试验前	试验后
路堤	—	—	20.5	—	(25)	25	(25)	25
斜坡软弱层	28.5	23.3	20.5	19.95	(8)	8	(10)	27.8
下卧刚硬层	11.5	11.8	20.5	21.3	(24)	24	(25)	25

Slide 模型计算取各层重度均为 20.5 kN/m³,与离心模型试验时以重度 20.5 kN/m³ 控制填筑是一致的;下卧刚硬层的含水率试验后仅增加 0.3%,故可取黏聚力、内摩擦角试验前后相同;路堤的含水率试验前后变化不大,认为黏聚力、内摩擦角试验前后近似相同;对于斜坡软弱层,其含水率试验后减小 5.2%(部分水分蒸发、水分下渗入下卧刚硬层,导致下卧刚硬层含水率略增)。根据文献^[12]研究成果,试验所用的重塑黏性土在含水率为 18.46%时黏聚力与内摩擦角均存在峰值,含水率在 18.46%的右侧变化(增加)对黏聚力值影响不大,内摩擦角则随着含水率的增加而降低。另外,既有研究表明,达成(达州—成都)铁路扩能改造工程新建双线段某斜坡软弱土黏聚力、内摩擦角分别为 21.71 kPa、8.63°(天然含水率 34.5%)^[13],内昆铁路老锅厂—李子沟斜坡软土天然快剪强度黏聚力、内摩擦角分别为 16.4kPa、10.6°^[5],综合考虑,本文斜坡软弱层试验前 c_w 、 φ_w 分别取 8 kPa(与试验后相同)、10°。

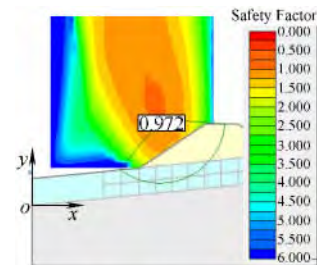
2.2.3 计算方法与滑动面搜索方式

本文选取简化 Bishop 法作为斜坡软弱地基路堤稳定性的计算方法,搜索方式采用网格搜索^[9]。通常

情况下,当圆弧滑动面越过分析模型的下边界时,该滑动面将会被忽略而不进行分析,形成无效滑面。若在滑面选项中勾选复式滑面,无效滑面将被考虑在内,圆弧滑动面越过模型下边界的部分被移除并自动适应模型下边界,形成复式滑面。最后,选取全局安全系数最小的滑面(包括圆弧滑面和复式滑面)为最危险滑动面^[9]。

2.3 Slide 模型结果与离心模型试验成果的对比

如前文所述,考虑到斜坡软弱层 φ_w 值的变异性较大,在斜坡软弱层内摩擦角 $\varphi_w = 10^\circ$ 的基础上,先后调整 $\varphi_w = 20^\circ$ 、 27.8° ,进行 3 组计算,获得滑动形态及稳定安全系数 F_s ,如图 4 所示。



(a) $\varphi_w = 10^\circ$; $F_s = 0.972$

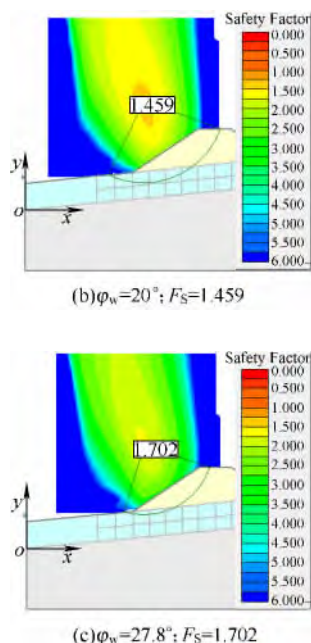


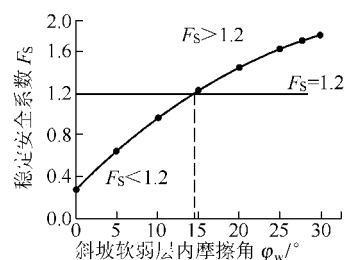
图 4 Slide 模型计算结果

由图 4 可知, φ_w 值在 $10^\circ \sim 27.8^\circ$ 变化时, 最危险滑面均为圆弧面, 圆弧面的切入深度未达到下卧刚硬层, 未形成复式滑面, 与土工离心模型试验观察到的结果是一致的。改变斜坡软弱层的 φ_w 值对最危险滑面的切入深度影响很大, 随着 φ_w 值的增大 (即斜坡软弱土强度的提高), 圆弧面的切入深度逐渐减小。

对比 Slide 模型计算结果 (图 4) 与土工离心模型试验成果 (图 2) 可知, φ_w 值在 $10^\circ \sim 20^\circ$ 变化时两者滑面形态基本吻合, 而 φ_w 值为 27.8° 时两者差异较大。说明模型离心运转过程中, 斜坡软弱层含水率的损失确实对斜坡软弱层的内摩擦角抗剪强度影响较大, 离心模型试验前斜坡软弱层的 φ_w 值为 $10^\circ \sim 20^\circ$, Slide 模型不能随意直接选取离心试验后所测定的内摩擦角作为原始参数输入计算。另一方面, Slide 模型可获得稳定安全系数值, 但离心模型试验则不便直接获得稳定安全系数值, 只能通过位移场、表面裂缝等宏观现象间接地描述滑动形态。Slide 模型与离心模型两者具有一定的互补性, 基于极限平衡法的斜坡软弱地基路堤稳定性分析应继续受到关注。

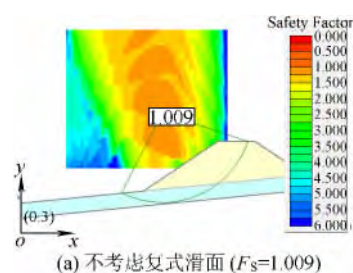
为使分析更具代表性, 增补计算 $\varphi_w = 0^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ 时的稳定安全系数值, 此时, 仍为圆弧滑动。图 5 给出了 Slide 模型所获得的稳定安全系数 F_s 随斜坡软弱层内摩擦角 φ_w 变化的关系。可以看出, 随着 φ_w 值的增大, 稳定安全系数值呈近线性关系明显增大。若考虑一定的安全储备, 认为 $F_s \geq 1.2$ 时路堤是安全的, 则在本次算例中, 当 φ_w 小于 15° 时, 斜坡软弱地基路堤可能失稳, 此值恰为 $10^\circ \sim 20^\circ$ 的中值, 在一定

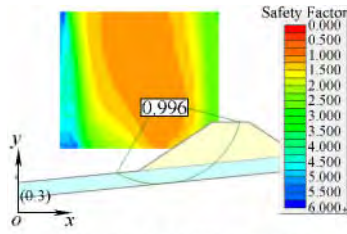
程度上论证了尽管离心模型试验未直接获得稳定安全系数值, 但模型仍发生了剪切破坏。

图 5 安全系数值与斜坡软弱层内摩擦角 φ_w 的关系

3 复式滑面的形态与规律

当斜坡软弱层厚度 h_w 相对偏薄或内摩擦角 φ_w 偏小时, 滑动面的切入深度可能会达到密实度较高、可视稳定的下卧刚硬层, 因滑动面无法继续向下深切而出现复式滑面。在 Slide 软件进行复式滑面分析时, 所建立的模型不能包含下卧刚硬层, 否则, 模型下边界得以延伸, 从而破坏软件对复式滑面搜索处理的默认约定条件。建模时, 不考虑下卧刚硬层, 将斜坡软弱层底直接视为刚硬约束边界。图 6 对比了是否考虑复式滑面情况下, 斜坡软弱地基路堤的最危险滑动面及其稳定安全系数值。此时, 斜坡软弱层厚度 $h_w = 3$ m, 黏聚力 $c_w = 8$ kPa, 内摩擦角 $\varphi_w = 10^\circ$, 路堤材料参数见表 1。当不考虑复式滑面时, 最危险滑动面仍为圆弧滑动面, 对应的稳定安全系数为 1.009; 而考虑复式滑面破坏时, 最危险滑动面为复式滑动面, 对应的稳定安全系数为 0.996, 较前者减小 0.013。换言之, 对于完全相同的模型, 考虑复式滑面时, 斜坡软弱地基路堤在自重作用下可能超过临界状态而发生剪切失稳破坏, 而不考虑复式滑面时则不会失稳。当斜坡软弱层厚度 h_w 分别为 2.5 m、1.5 m、0.5 m 时, 考虑复式滑动时所获得的稳定安全系数均偏小, 考虑复式滑面与否两者之差分别为 0.016、0.048、0.200。充分说明, 当斜坡软弱层厚度减小时, 考虑复式滑动与否所获得的稳定安全系数值差异增大。为安全起见, 在斜坡软弱地基条件下验算复式滑面破坏是非常必要的。

(a) 不考虑复式滑面 ($F_s=1.009$)



(b)考虑复式滑面 ($F_s=0.996$)

图 6 Slide 软件稳定安全系数计算结果

图 7 为斜坡软弱层厚度和内摩擦角对路堤稳定安全系数的影响关系。由图 7 可知,随着斜坡软弱层厚度的增加,稳定安全系数逐渐降低并趋于稳定,且 φ_w 越小,稳定安全系数受斜坡软弱层厚度的影响就越大。结合 Slide 计算结果进一步分析可知,在给定的 φ_w 下,随着斜坡软弱层厚度的增加,最危险滑面形态由复式滑面向圆弧滑面逐渐过渡。取特定 φ_w ,在仅改变斜坡软弱层厚度 h_w 的情况下经过反复试算,发现复式滑面与圆弧滑面的变化临界点通常位于安全系数从降低到稳定的拐点处。若将不同 φ_w 的拐点连接成线便可得到一条复式滑面与圆弧滑面的分界线,分界线左侧的最危险滑面形态为复式滑面,右侧为圆弧滑面。进一步推断可知,在 φ_w 偏小,斜坡软弱层厚度偏薄的情况下更容易出现复式滑面破坏。在实际工程问题中,工程技术人员需重点考察斜坡软弱层的 φ_w 和厚度 h_w 两个参数,并结合路堤断面、斜坡软弱层坡度等因素,对斜坡软弱地基路堤进行复式滑面破坏稳定性验算。

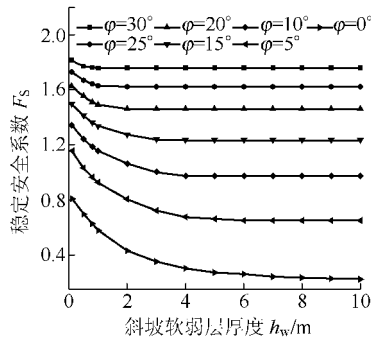


图 7 斜坡软弱层厚度和内摩擦角对安全系数的影响

4 复式滑动概率研究

斜坡软弱层的力学参数,特别是 φ_w 受含水率的变化影响较大。实际工程中,软弱土的含水率常随着季节、降雨量、空气湿度等因素的不同而不同,将室内土工试验测定的确定性土体抗剪强度指标直接用于稳定性验算存在一定风险。因此,有必要引入概率分析方法,考察 φ_w 变异性较大时斜坡软弱地基路堤的稳定性以及复式滑动破坏发生的概率。

参照本文第 3 章中的模型,将 Slide 计算模型中斜坡软弱层的厚度调整为 3 m, φ_w 的平均值参考本文 2.3 节中预估的模型破坏时 φ_w 取值范围($10^\circ \sim 20^\circ$)的中值 15° ,假定 φ_w 值呈正态分布,在标准差 5° 的正负 3 倍之间变化。

通过蒙特卡洛采样方法,Slide 软件抽取 1 000 个 φ_w 样本,其正态分布直方图如图 8 所示。

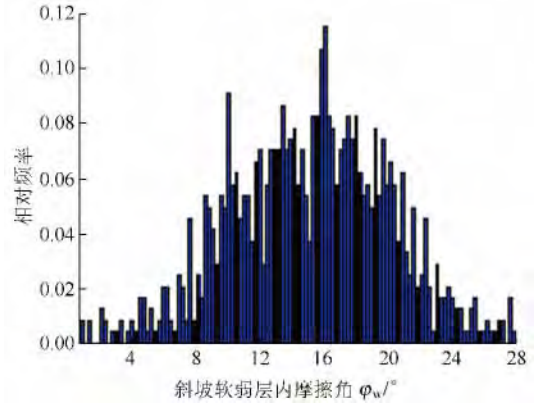


图 8 斜坡软弱层内摩擦角正态分布直方图

图 9(a)为不考虑复式滑面的计算结果。图中圆弧形滑面为 $\varphi_w = 15^\circ$ 时的最危险滑面(安全系数为 1.238),Slide 在该滑面确定的前提下,通过改变 φ_w 值,计算出所有 φ_w 值下的安全系数,平均值为 1.246,其破坏概率($F_s < 1$)为 13.8%,故仍需对斜坡软弱层进行有效的地基处理以避免工程风险。

当考虑复式滑面时,计算结果如图 9(b)所示。由图 9(b)可见,当 φ_w 为 15° 时该模型发生复式滑面破坏,其破坏概率($F_s < 1$)为 15.2%,大于不考虑复式滑动破坏的 13.8%。考虑复式滑动破坏后,斜坡软弱地基路堤的破坏概率增大,可靠性指标由 1.074(安全系数服从正态分布)与 1.115(安全系数服从对数正态分布)分别减小至 1.032 与 1.065。因此,考虑复式滑面的设计方法相对更加合理,也进一步说明该工况下采取工程措施的必要性。

在仅单一改变 φ_w 的前提下,斜坡软弱地基路堤最危险圆弧面切入斜坡软弱层的深度与 φ_w 呈负相关,即随着 φ_w 的提高,切入深度减小。反复试算发现,当 φ_w 为 16.5° 时,最危险滑面为复式滑面;当 φ_w 为 16.55° 时,最危险滑面为圆弧滑面。因此可以认为, 16.5° 为复式滑面与圆弧滑面的临界 φ_w 值。在本例所给的 φ_w 正态分布参数下,其最危险滑面为复式滑面的概率为 59.8%($\varphi_w < 16.5^\circ$)。若考虑一定的安全储备,采用 $F_s \geq 1.2$ 作为设计指标,如图 10 所示, $F_s < 1.2$ 且 $\varphi_w < 16.5^\circ$ 的概率为 42.4%。说明在本例所给条件下,斜坡软弱地基路堤有 42.4% 的概率无法通过稳定性

验算,并且所有最危险滑面均为复式滑面。

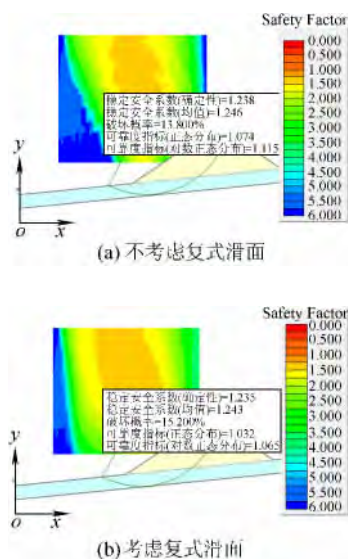


图 9 简化 Bishop 法稳定性计算结果

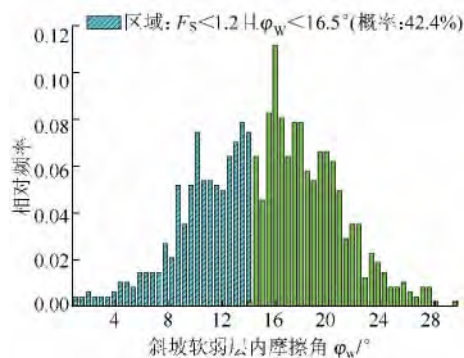


图 10 稳定安全系数值的概率分布

5 结论与建议

(1) 离心模型试验可以获得斜坡软弱地基路堤的位移场、宏观破坏模式,但无法直接获得稳定安全系数值,且无法大量开展。基于极限平衡法的 Slide 模型计算无法获得斜坡软弱地基路堤的位移场,但可直接获得滑动破坏模式及稳定安全系数值,且可便捷开展核心参数敏感性分析。Slide 模型计算与离心模型试验两者具有一定程度的互补性;极限平衡法用于判断斜坡软弱地基路堤复式滑面是可行的。

(2) 在极限平衡法中,考虑复式滑面后,斜坡软弱地基路堤稳定安全系数低于未考虑复式滑面时,设计更趋于保守。斜坡软弱层内摩擦角偏小、厚度偏小的情况下更容易出现复式滑动破坏。可利用图 7 稳定安全系数与斜坡软弱层内摩擦角、厚度的关系,通过稳定安全系数从降低到稳定拐点处的连线判断斜坡软弱地基路堤是否为复式滑动。

(3) 斜坡软弱层内摩擦角变异性较大,在极限平

衡法中引入概率分析,可进一步提高斜坡软弱地基路堤复式滑动分析的可靠性,作为传统确定性分析的改进,值得实际工程推广应用。

参考文献:

- [1] 魏永幸. 松软倾斜地基填方工程安全性评价方法[J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 12(2): 73-79.
WEI Yong-xing. An Disquisition for the Safety of Earth-Work in the Floopy-tip Ground[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2001, 12(2): 73-79.
- [2] 尤昌龙, 赵成刚, 张焕成, 等. 高原斜坡软土地基施工试验研究[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(4): 503-508.
YOU Chang-long, ZHAO Cheng-gang, ZHANG Huan-cheng, et al. Study on Construction Test of Embankment on Soft Clay of Plateau Slope [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(4): 503-508.
- [3] 蒋鑫, 魏永幸, 邱延峻. 斜坡软弱地基路堤填筑全过程稳定性[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(1): 30-34.
JIANG Xin, WEI Yong-xing, QIU Yan-jun. Stability of Subgrade Embankment on Sloped Weak Ground[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(1): 30-34.
- [4] 蒋鑫, 邱延峻, 魏永幸. 软弱夹层性状对斜坡软弱地基填方工程稳定性的影响分析[C]//第八次全国岩石力学与工程大会论文集. 北京: 科学出版社, 2004: 648-651.
- [5] 漆宝瑞, 高柏松. 西南山区“斜坡软土”工程特性研究及整治措施[C]//第八次全国岩石力学与工程大会论文集. 北京: 科学出版社, 2004: 687-691.
- [6] 蒋鑫, 邱延峻, 魏永幸. 基于强度折减法的斜坡软弱地基填方工程特性分析[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(4): 622-627.
JIANG Xin, QIU Yan-jun, WEI Yong-xing. Engineering Behavior of Subgrade Embankments on Sloped Weak Ground Based on Strength Reduction FEM[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(4): 622-627.
- [7] JIANG X, QIU Y J, WEI Y X, et al. Application of SSRM in Stability Analysis of Subgrade Embankments over Sloped Weak Ground with FLAC3D[C]//10th International Symposium on Landslides and Engineered Slopes, 2008: 741-746.
- [8] 黄明星, 蒋鑫, 邱延峻. 基于剪切强度折减法的斜坡软弱地基路堤稳定性分析[J]. 铁道标准设计, 2010, 54(10): 40-43.
HUANG Ming-xing, JIANG Xin, QIU Yan-jun. Analysis on Stability of Embankment on Soft Foundation of Slope Based on Shear Strength Reduction Method[J]. Railway Standard Design, 2010, 54(10): 40-43.

- [9] Rocscience Inc. Slide (2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes) User's Guide Part 1[M]. Canada: Rocscience Inc., 2003:1-199.
- [10] 魏永幸, 罗强, 邱延峻. 渝怀线斜坡软弱地基填方工程特性及工程技术研究报告[R]. 成都: 铁道第二勘察设计院, 2005:75-114.
- [11] 张良, 魏永幸, 罗强. 基于离心模型试验的斜坡软弱土地基路堤变形特性研究[J]. 铁道建筑技术, 2004, 4(1): 51-53.
ZHANG Liang, WEI Yong-xing, LUO Qiang. A Research over Deformation Characteristics of Embankment for Slope Weak Soil Subgrade Based on Centrifugal Model Test [J]. Railway Construction Technology, 2004, 4(1): 51-53.
- [12] 尹俊, 梅国雄, 宰金珉. 降雨对土坡稳定的影响[J]. 南京工业大学学报, 2007, 29(5): 16-20.
YIN Jun, MEI Guo-xiong, ZAI Jin-min. Influence of Rainfall on Slope Stability[J]. Journal of Nanjing University of Technology, 2007, 29(5): 16-20.
- [13] 罗强, 胡勇刚, 张良, 等. 水泥石搅拌法加固斜坡软弱土地基的土工离心模型试验研究[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(4): 12-19.
LUO Qiang, HU Yong-gang, ZHANG Liang, et al. The Geotechnical Centrifuge Model Experiment Study of the Slope Soft-soil Foundation Improved by Cement Soil Mixing Method [J]. China Railway Science, 2010, 31(4): 12-19.

(责任编辑 刘 霞)

(上接第 83 页)

(3)取消或减少背景信息。背景信息如果过长或占文摘篇幅的比例过大,则反映出对作者所做的工作描述过于笼统和简单。

(4)作者在文献中谈及的未来计划不纳入文摘。

(5)文摘第一句应避免与题目(Title)重复。

2. 注意文法和文体风格

主要为以下几方面。

(1)用过去时态叙述作者工作,用现在时态叙述作者结论。

(2)能用名词做定语不要用动名词做定语,能用形容词作定语就不要用名词作定语。例如:

用 measurement accuracy,不用 measuring accuracy;

用 experimental results,不用 experiment results。

(3)可直接用名词或名词短语做定语的情况下,要少用 of 句型,例如:

用 measurement accuracy,不用 accuracy of measurement;

用 camera curtain shutter, 不用 curtain shutter of camera;

用 equipment structure, 不用 structure of equipment 。

(4)可用动词的情况尽量避免用动词的名词形式,例如:

用 Thickness of plastic sheet was measured.

不用 Measurement of thickness of plastic sheet was made.

(5)注意冠词用法,不要误用、滥用或随便省略冠词。如果不会引起误解,可数名名词尽量用复数。

(6)避免使用一长串形容词或名词来修饰名词。可以将这些词分成几个前置短语,用连字符连接名词组,作为单位形容词(一个形容词)。

如应用 The chlorine-containing propylene-based polymer of high melt index. 代替 The chlorine containing high melt index propylene based polymer.

(7)尽量用主动语态代替被动语态,如:“A exceeds B”比“B is exceeded by A”好。

(8)尽量用简短、词义清楚并为人熟知的词。技术名词和专业用语必须谨慎推敲,保证准确无误。

(9)慎用行话和俗语。

(10)语言要简练,但不得使用电报型语言。

如 Adsorption nitrobenzene on copper chromite investigation. 应为 Adsorption of nitrobenzene on copper chromite was investigated.

(11)文词要纯朴无华,不用多姿多态的文学性描述手法。尽量用短句子并避免句形单调,不要出现语法错误。

(12)组织好句子,使动词尽量靠近主语,例如:

用 When the pigment was dissolved in dioxane, decolorization was irreversible after 10 h of UV irradiation.

不用 The decolorization in solutions of the pigment in dioxane, which were exposed to 10 h of UV irradiation, was no longer irreversible.

(13)用重要的事实开头,尽可能避免用辅助从句开头,如:

用 Power consumption of telephone switching systems was determined from data obtained experimentally.

不用 From data obtained experimentally, power consumption of telephone switching systems was determined.

(14)文摘中涉及其他人的工作或研究成果时,尽量列出他们的名字及文献出处。

(15)文摘词语拼写,用英美拼法都可以,但在每篇文章中须保持一致。

(16)文摘中不能出现“图××”、“方程××”和“参考文献××”等句子。

(17)注意中英文不同的表达方法。不要简单地逐字直译。例如,不要将“because”放在句首表达“因为”这一概念,“because”表示原因语气用在文摘中过强。不要用“XX are analyzed and studied(discussed)”直译“分析研究(讨论)”这一中文概念。用“XX are analyzed”就可以。尽量不要使用“not only...but also”直译中文“不但...而且”这一概念,用“and”就行。

(18)文摘中的缩写名称在第一次出现时要有全称。

(19)文摘中的特殊字符。主要指各种数学符号、数学公式、矩阵、数列、希腊字母、上下角标等,尽量不用,改用文字叙述。

(本刊编辑部)